

**SIMULASI PENANGKAL PETIR *OP-AMP INVERTING* DENGAN
GENERATOR TEGANGAN IMPULS SEBAGAI *INPUT* MENGGUNAKAN
MATLAB SIMULINK**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi
Strata I pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

ARYO SUKMONO AJI

D400170086

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

2021

HALAMAN PERSETUJUAN

**SIMULASI PENANGKAL PETIR *OP-AMP INVERTING* DENGAN
GENERATOR TEGAGANGAN IMPULS SEBAGAI *INPUT*
MENGUNAKAN MATLAB SIMULINK**

PUBLIKASI ILMIAH

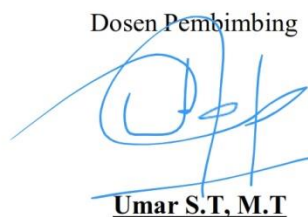
oleh:

ARYO SUKMONO AJI

D400170086

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



Umar S.T. M.T

NIK. 731

HALAMAN PENGESAHAN

**SIMULASI PENANGKAL PETIR *OP-AMP INVERTING* DENGAN
GENERATOR TEGAGANGAN IMPULS SEBAGAI *INPUT*
MENGUNAKAN MATLAB SIMULINK**

OLEH

ARYO SUKMONO AJI

D400170086

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Sabtu, 31 Juli 2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan Penguji:

1. Umar, S.T., M.T

(Ketua Dewan Penguji)

(.....)

2. Agus Supardi, S.T., M.T

(Anggota I Dewan Penguji)

(.....)

3. Aris Budiman, S.T., M.T

(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)

Dekan,



Rois Fatoni, S.T., M.Sc., Ph.D.

NIK. 892

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 18 Juli 2021

Penulis



ARYO SUKMONO AJI

D400170086

SIMULASI PENANGKAL PETIR *OP-AMP INVERTING* DENGAN GENERATOR TEGANGAN IMPULS SEBAGAI *INPUT* MENGUNAKAN MATLAB SIMULINK

Abstrak

Petir dapat menyambar secara tiba-tiba dan menyebabkan kerusakan yang sangat besar. Salah satu cara untuk melindungi gedung dari sambaran petir yaitu dengan memasang alat bernama penangkal petir. Penangkal petir adalah sebuah alat yang berfungsi untuk mengalihkan tegangan listrik dari sambaran petir menuju ke tanah. Penangkal petir biasanya dipasang di atap gedung, rumah, atau bangunan lain. Teknologi penangkal petir bisa dikembangkan lagi dengan metode pembalik muatan yang prinsip kerjanya menggunakan sistem operasi *Op-Amp (Operational Amplifier) inverting* dan sela bola. Perancangan alat ini dibagi menjadi beberapa proses, yang pertama adalah dari pembacaan muatan oleh modul referensi yang berfungsi untuk membaca muatan yang berbanding terbalik dari muatan di awan, karena munculnya medan elektromagnetik dari awan sebelum terjadinya sambaran petir, sebagai *input* referensi *op-amp*. Prinsip kerja *op-amp inverting* adalah membalikan fasa *input* dari modul referensi, sedangkan sela bola sendiri berfungsi sebagai pelindung peralatan *Inverting* jika terjadi sambaran petir secara langsung, dan Sela bola akan menyalurkan arus petir langsung ke tanah. Area keseluruhan dilindungi menggunakan metode bola gelinding dan mesh sebagai sistem groundingnya. Penelitian kali ini menggunakan rangkaian R-C generator tegangan impuls yang nanti sinyal keluarannya menjadi *input* untuk rangkaian *op-amp inverting*. Simulasi rangkaian *inverting* pada kali ini menggunakan 3 tegangan masukan, untuk nilai resistansi yang digunakan berkisar antara $1\text{k}\Omega$ hingga $60\text{k}\Omega$. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mensimulasikan sistem penangkal petir eksternal dan mengetahui perubahan tegangan dari sambaran petir, serta penelitian ini menggunakan *software* MATLAB Simulink sebagai sarana untuk mensimulasikan rangkaian *op-amp inverting* sebagai pembalik muatan pada penangkal petir. Hasil dari simulasi berupa perbandingan nilai tiap gelombang *output*, untuk mengetahui penguatan tegangan yang diberikan oleh rangkaian *op-amp inverting*.

Kata Kunci: Penangkal petir, *Op-Amp inverting*, Tegangan Impuls

Abstract

Lightning can strike suddenly and cause enormous damage. One way to protect buildings from lightning strikes is to install a tool called a lightning rod. Lightning rod is a device that functions to divert the electrical voltage from a lightning strike to the ground. Lightning rods are usually installed on the roof of buildings, houses, or other buildings. Lightning rod technology can be further developed with the Charge Inverting Method whose working principle uses the inverting Op-Amp (Operational Amplifier) operating system and spark gap. The design of this tool is divided into several processes, the first is from the reading of the payload by the Reference Module which functions to read the charge that is inversely proportional to the charge in the cloud, due to the emergence of the electromagnetic field from the cloud before the lightning strike, as the Op-Amp reference input. The working principle of the Inverting Op-Amp is to reverse the input phase of the Reference Module, while the Spark gap itself functions as a protective Inverting equipment in the event of a direct lightning strike, and Spark gap will channel lightning currents directly to the ground. The entire area of the house is protected using the

Rolling Ball and Mesh method as the grounding system. In this study, R-C circuit for an impulse voltage generator whose output signal will be the input for the Inverting Op-Amp circuit. This inverting circuit simulation uses 3 input voltages, for the resistance value used ranges from 1 k Ω to 60 k Ω . The purpose of this study is to simulate an external lightning rod system and determine the voltage change from a lightning strike, and this study uses the MATLAB Simulink software as a means to simulate the inverting Op-Amp circuit as a charge inverting lightning rod. The results of the simulation are in the form of a comparison of the values of each output wave, to determine the voltage gain given by the inverting Op-Amp circuit

Keywords: Lightning rod, Op-Amp Inverting, Impulse Voltage.

1. PENDAHULUAN

Negara Indonesia sering mengalami musibah atau kerusakan yang disebabkan oleh sambaran petir. Daerah Subang Jawa barat merupakan salah satu daerah yang memiliki jumlah sambaran petir per kilometer dan per tahun yang sangat tinggi (Zoro, 2013). Sambaran petir biasanya muncul secara tiba-tiba, diklasifikasikan sebagai fenomena fisik dari alam yang disebabkan oleh pelepasan medan elektrostatik secara impulsif (Yen-Heong dkk, 2017). Salah satu cara melindungi bangunan dan manusia dari sambaran petir ada sistem yang dikenal dengan sistem proteksi petir (Saodah dkk, 2014). Sistem proteksi petir dapat dilakukan dengan memasang alat bernama penangkal petir.

Penangkal petir merupakan sebuah alat yang digunakan untuk menyalurkan tegangan listrik dari sambaran petir menuju ke tanah. Penangkal petir biasanya dipasang diatap gedung, rumah, atau bangunan lain. Teknologi penangkal petir bisa dikembangkan lagi dengan menambahkan rangkaian *op-amp inverting*, dimana prinsip kerjanya menggunakan sistem operasi *op-amp (Operational Amplifiers) inverting* dan sela bola. Sela bola berfungsi untuk melindungi peralatan *Inverting* saat terjadi sambaran petir secara langsung, dan sela bola akan menyalurkan arus petir langsung ke tanah (Arfianto dkk, 2018). Area keseluruhan dilindungi menggunakan metode bola gelinding dan mesh sebagai sistem *grounding*.

Rangkaian R-C generator tegangan impuls, dimana *output* dari rangkaian tersebut dianalogikan sebagai tegangan impuls dari sambaran petir. Gelombang yang dihasilkan memiliki durasi muka yang pendek, dengan satuan mikro sekon sampai puluhan mikro sekon dan mengecil hingga angka nol (Bimatara dkk, 2016). Nilai parameter yang sesuai juga diperlukan untuk menghasilkan bentuk gelombang yang berbeda dan sesuai dengan kebutuhan (Mehta dkk, 2018)

Simulasi dari penelitian kali ini menggunakan *software* MATLAB Simulink, dimana *software* ini sangat efisien untuk mengetahui perubahan bentuk gelombang untuk aplikasi tegangan tinggi (Sheeba dkk, 2012). Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk

mengetahui efek penguat membalik dari rangkaian pembalik muatan *op-amp inverting* kepada tegangan impuls petir yang dianalogikan dengan gelombang impuls keluaran dari rangkaian R-C generator tegangan impuls.

2. METODE

2.1 Studi Literatur

Tahap pertama untuk penelitian kali ini penulis melakukan pencarian berbagai sumber tertulis seperti artikel, dan jurnal, atau dokumen-dokumen yang relevan dengan permasalahan yang dikaji.

2.2 Studi Bimbingan

Pada tahap studi bimbingan penulis melakukan bimbingan dengan dosen pembimbing mulai dari awal penentuan judul hingga akhir pembuatan laporan dengan cara bertukar pikiran.

2.3 Pengumpulan Data

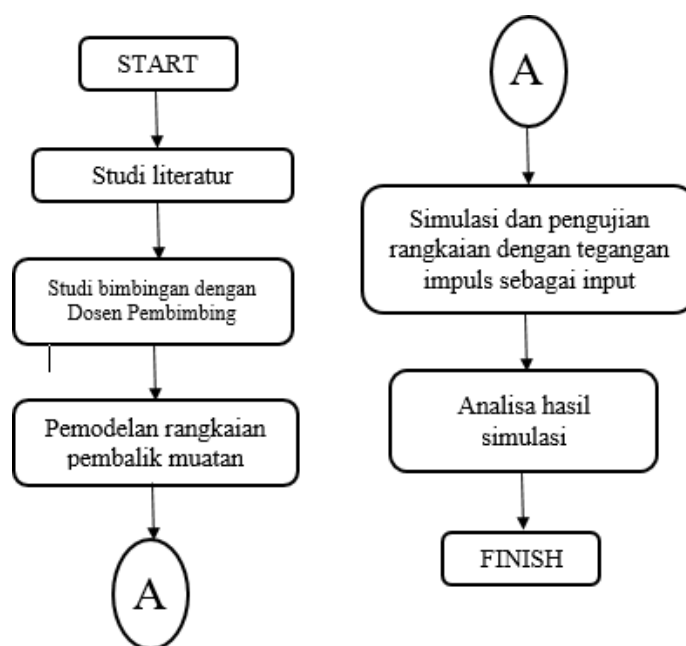
Penulis mengumpulkan data dengan mencari data di internet dan terjun kelapangan untuk mengukur rumah untuk desain pemasangan rangkaian.

2.4 Simulasi

Penulis akan membuat model rangkaian dan mensimulasikannya menggunakan software MATLAB untuk mendapatkan data untuk di analisa.

2.5 Analisa

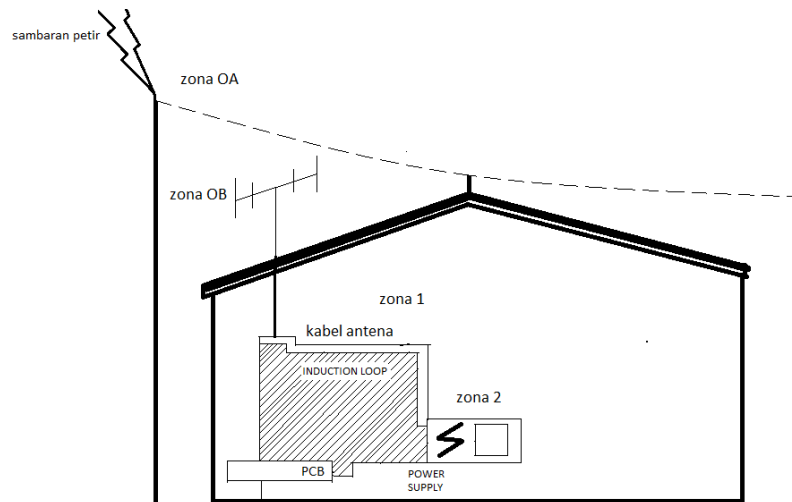
Penulis akan menganalisa hasil dari simulasi yang telah dilakukan dengan menggunakan teori-teori yang sudah dikaji dalam studi literatur sebelumnya.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.6 Sistem Penangkal Petir

Penelitian ini mengacu pada studi yang sudah dilakukan sebelumnya, daerah yang ditempati peralatan dan personil yang di bagi dalam area-area yang diproteksi, seperti Gambar 2 dibawah ini :



Gambar 2. Daerah Proteksi Petir

2.6.1 Zona OA

Kemungkinan area yang terkena sambaran petir secara langsung dan objek yang tersambar harus meimiliki daya tahan yang tinggi dan mampu mengalirkan arus petir ke tanah

2.6.2 Zona OB

Area yang dilindungi dari bahaya sambaran petir langsung, namun masih mendapatkan impuls elektromagnetik yang sangat kuat. Area ini disebut proteksi eksternal yang terdiri dari batang finial, *down conductor* dan sistem *grounding*.

2.6.3 Zona 1

Bagian yang terlindungi dari bahaya sambaran petir langsung dan medan magnetik yang lemah yang sudah diredam oleh dinding gedung.

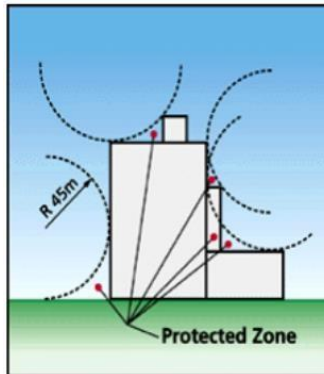
2.6.4 Zona 2

Daerah yang ada di dalam zona 1 dengan perlindungan seperti *cabinet*.

2.7 Bola Gelinding

Metode bola gelinding sangat disarankan untuk diterapkan pada bangunan yang struknyanya rumit. seolah-olah ada suatu bola dengan radius tertentu yang bergelinding di permukaan tanah, sekitar struktur dan di atas struktur ke segala arah sehingga tersambung dengan tanah atau struktur yang terhubung dengan permukaan tanah yang bisa berfungsi sebagai penghantar. Titik sentuh dari metode ini pada struktur adalah titik yang tersambar petir dan pada titik tersebut harus terlindungi oleh konduktor terminasi udara. Semua petir dengan jarak tertentu dari ujung penangkal petir akan memiliki kesempatan yang sama untuk menyambar bangunan.,

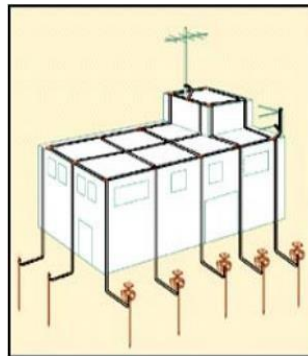
seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Metode Bola-Gelinding

2.8 Mesh

Mesh adalah penghantar untuk finial-atas, penghantar yang ada di atap, dan haruslah berbentuk poligon tertutup yang semua ujung dari poligon tersebut ditempatkan dekat dengan ujung-ujung bangunan, dapat dilihat seperti Gambar 4 dibawah ini :



Gambar 4. Metode Jaring

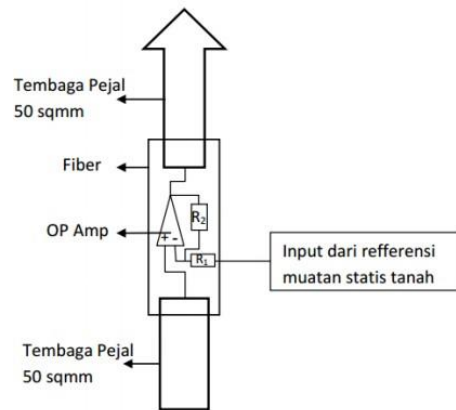
2.8.1 *Down Conductor*

Down conductor berfungsi sebagai penghantar arus petir ketanah yang telah ditangkap oleh terminal udara secara aman, dimana kabel konduktor tersebut harus memiliki impedansi yang rendah sehingga isolasi dari kabel terhindar dari tegangan yang berlebihan. *Sparking* atau loncatan arus bisa dihindari dengan membuat rute *down conductor* sependek mungkin.

2.8.2 Pembumian (*Grounding*)

Pembumian dilakukan dengan penanaman elektroda dibawah permukaan tanah dengan cara tertentu. Elektroda harus membuat kontak langsung dengan tanah. Penghantar bumi yang tidak memiliki isolasi dianggap sebagai bagian dari elektroda bumi. Bahan yang digunakan untuk elektroda yaitu tembaga atau baja galvanisasi.

2.9 Model Penangkal Petir *Op-Amp Inverting*



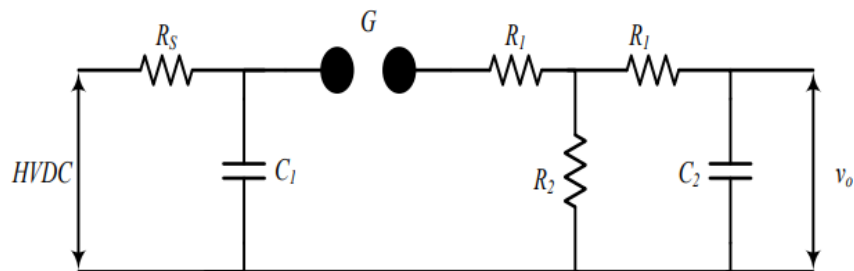
Gambar 5. Penangkal Petir Dengan *Op-Amp Inverting*

Komponen yang dibutuhkan yaitu tembaga pejal sebagai finial dan rangkaian *op amp inverting* sebagai pembalik muatan tegangannya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Generator Tegangan Impuls DC

Rangkaian pembangkit tegangan tinggi impuls berbasis rangkaian R-C dihubungkan dengan rangkaian *op-amp inverting* sebagai *input* tegangan impuls yang dianalogikan sebagai tegangan impuls dari sambaran petir. R_s berfungsi untuk membatasi tegangan yang masuk dari sumber *input* DC agar tidak terjadi pengisian pada kapasitor saat *breakdown* di sela udara G, sehingga yang mengalir ke komponen pembentuk gelombang hanyalah muatan yang berasal dari kapasitor pengisian.



Gambar 6. Generator Tegangan Impuls R-C

Tabel 1. Parameter kapasitor rangkaian generator gelombang impuls

C_1 (μF)	C_2 (μF)	<i>Peak time</i> (μs)
10	1,2	1,2
25	1,2	1,2
50	1,2	1,2

Tegangan impuls petir yang digunakan memiliki nilai kapasitor yang bervariasi antara 10 μF , 25 μF , dan 50 μF dan nilai resistor akan ditetapkan dengan perhitungan

3.1.1 Perhitungan Nilai Resistor

Nilai dari resistor akan ditentukan dengan perhitungan seperti dibawah ini, dengan nilai kapasitor $C_1=10 \text{ uF}$, 25 uF , dan 50 uF , sedangkan nilai dari C_2 adalah $1,2 \text{ uF}$. ($\alpha=6,4$ dan $\theta = 5,26 \text{ }\mu\text{s}$).

- Perhitungan nilai X :

$$X = \frac{1}{4\alpha^2} \left(1 + \frac{C_1}{C_2}\right) \left(1 + \frac{C_2}{C_1}\right) \quad (1)$$

$$X = \frac{1}{163,84} \left(1 + \frac{10}{1,2}\right) \left(1 + \frac{1,2}{10}\right)$$

$$X = 0,063$$

- Perhitungan nilai R dan R_1

$$R = \frac{2\alpha\theta}{C_1+C_2} (1 - \sqrt{1 - X}) \quad (2)$$

$$R = \frac{67,3}{11,2} (1 - \sqrt{1 - 0,063})$$

$$R = 0,19 = 190\Omega$$

- Perhitungan R_2

$$R_2 = \frac{2\alpha\theta}{C_1+C_2} \sqrt{1 - X} \quad (3)$$

$$R_2 = \frac{67,3}{11,2} \sqrt{1 - 0,063}$$

$$R_2 = 5,81 = 5.810\Omega$$

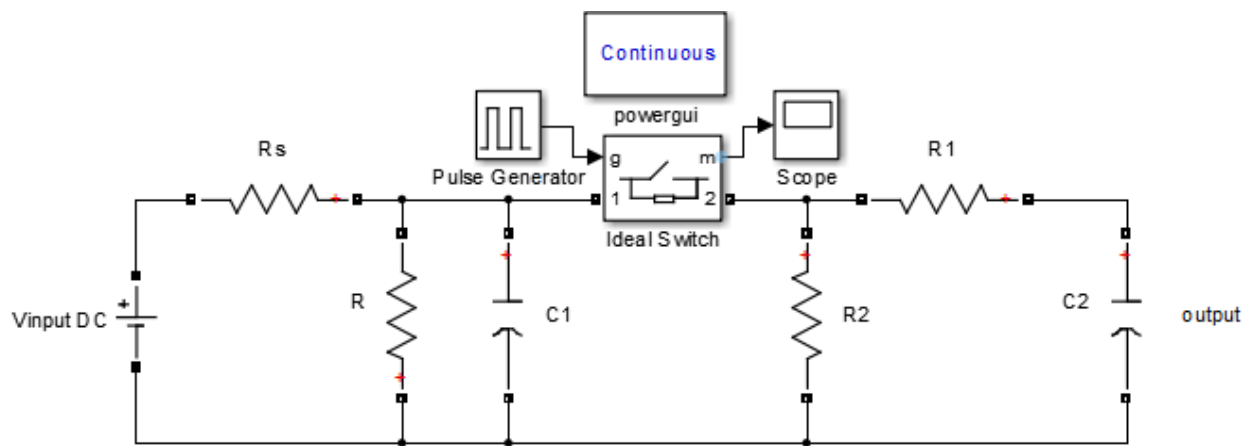
Perhitungan diatas menggunakan nilai kapasitor 10uF , dan sama seterusnya untuk nilaikapasitor 25uF dan 50uF .

Tabel 2. Data yang diperoleh dari perhitungan nilai Resistor

R (Ω)	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	C_1 (uF)
190	190	5810	10
185	185	2380	25
188	188	1120	50

3.1.2 Simulasi Generator Tegangan Impuls dengan Simulink

Software Simulink bisa digunakan untuk mensimulasikan kinerja rangkaian generator tegangan tinggi impuls. Tegangan input dari tegangan arus searah harus terpisah dari kapasitor pengisian saat proses discharge pembentukan gelombang terjadi, namun hal ini sulit dilakukan karena waktu *switching* yang sangat cepat dan tegangan yang bisa terbilang sangat tinggi. Solusinya adalah dengan memindahkan salah satu R_1 di antara input tegangan DC dan kapasitor pengisian. Resistor R akan membatasi aliranmuatan menuju ke kapasior pengisian.

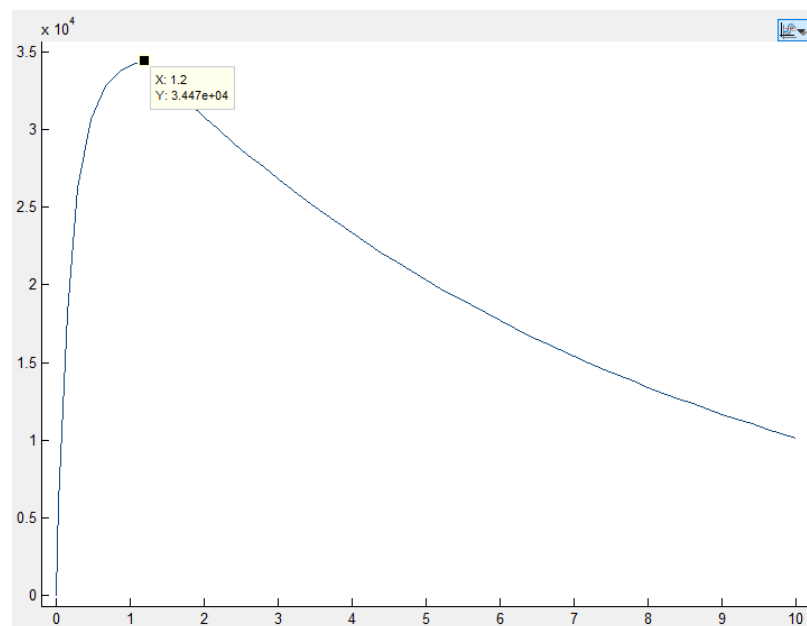


Gambar 7. Model Rangkaian R-C Generator Tegangan Impuls DC

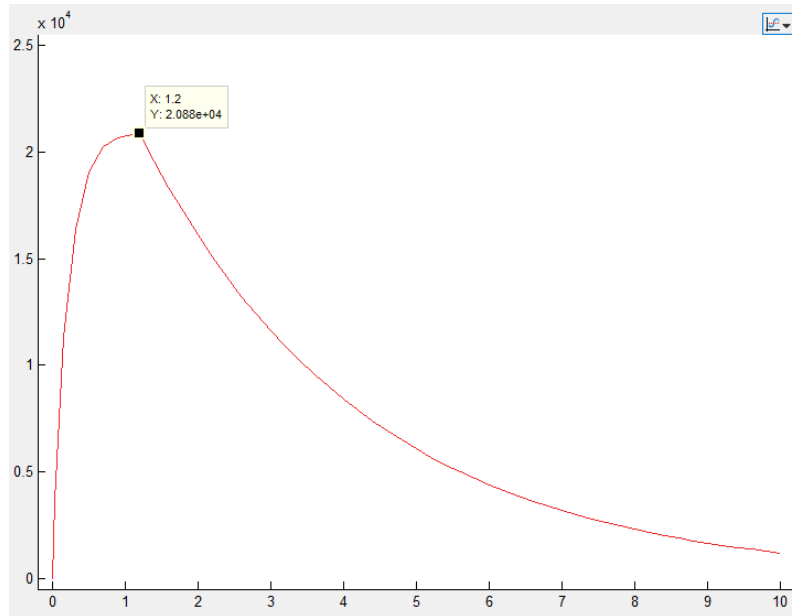
Simulasi yang telah dilaksanakan menggunakan nilai R_s yang bervariasi dari $30\text{k}\Omega$, $50\text{k}\Omega$, dan $70\text{k}\Omega$. Nilai resistor yang didapat dari perhitungan, disesuaikan dengan nilai kapasitor yang sudah ditentukan sebelumnya. Sumber tegangannya menggunakan tegangan *input* DC sebesar 6000kV . *Pulse generator* berfungsi sebagai komponen pembentuk gelombang.

3.1.3 Hasil Simulasi

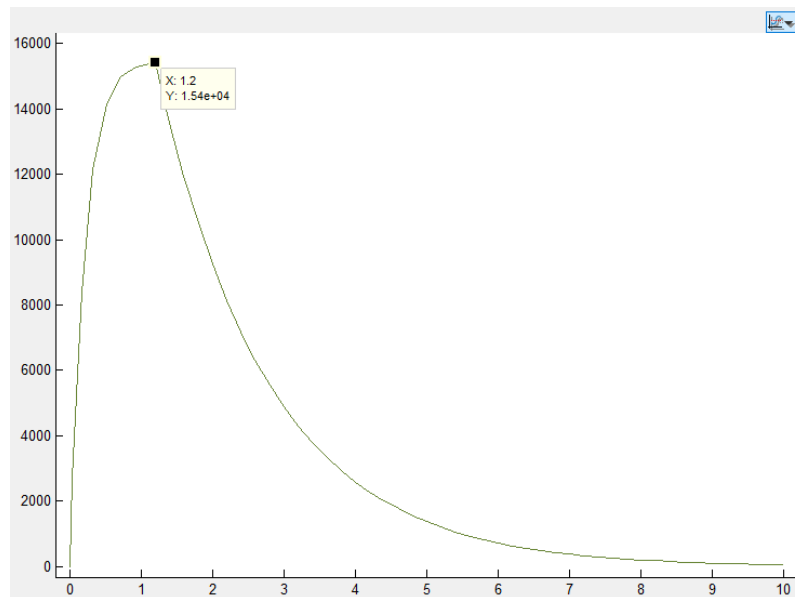
Hasil dari simulasi ini berbentuk gelombang impuls dengan satu nilai *input* dan beberapa variasi parameter komponen rangkaian generator tegangan impuls. Gelombang impuls kali ini memiliki Gelombang output dapat dilihat pada Gambar 8, Gambar 9, dan Gambar 10..



Gambar 8. Gelombang Tegangan Impuls dengan nilai $C_1 = 10\mu\text{F}$



Gambar 9. Gelombang Tegangan Impuls dengan nilai $C_1 = 25\mu\text{F}$



Gambar 10. Gelombang Tegangan Impuls dengan nilai $C_1 = 50\mu\text{F}$

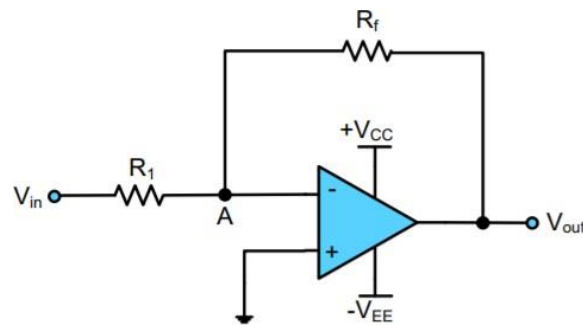
Tabel 3. Data hasil simulasi Rangkaian R-C Generator Tegangan Impuls

<i>Input DC</i> (kV)	R_s (k Ω)	R (Ω)	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	C_1 (μF)	C_2 (μF)	<i>Output</i> (kV)
6000	30	190	190	5810	10	1,2	34,47
	50	185	185	2380	25	1,2	20,88
	70	188	188	1120	50	1,2	15,44

Berdasarkan pada Tabel 3 besarnya tegangan *input* tidak berpengaruh pada besarnya tegangan *output*. Besarnya tegangan *output* dipengaruhi oleh nilai resistor dan kapasitor yang digunakan, sehingga bisa disesuaikan dengan kebutuhan.

3.2 Rangkaian Pembalik Muatan *Op-Amp Inverting*

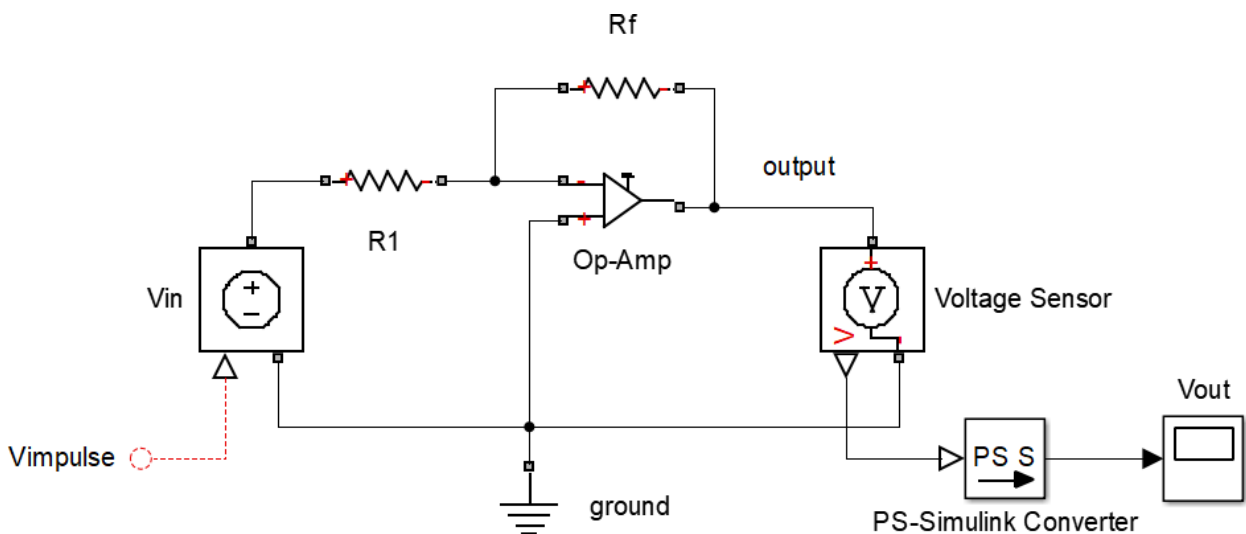
Op-amp inverting adalah rangkaian penguat pembalik dengan impedansi *input* yang rendah. Cara kerjanya adalah tegangan atau arus output berubah menjadi lebih besar dari tegangan atau arus masukannya, namun gelombang keluaran dari rangkaian penguat inverting ini akan berbanding terbalik 180° dari *input*. Rangkaian penguat inverting ini terdiri dari 1 *op-amp* (*Operational Amplifier*) dan 2 resistor. *Op-amp* sendiri merupakan komponen yang berfungsi sebagai penguat sinyal listrik, sedangkan resistor *feedback* (R_f) dan resistor input (R_i) berfungsi mengendalikan faktor penguatan invertingnya (Abdurrahman Rasyid, 2019).



Gambar 11. Rangkaian Penguat Inverting

3.2.1 Simulasi Rangkaian Pembalik Muatan

Simulasi dari rangkaian ini dilakukan menggunakan cara yang sama dengan simulasi rangkaian genrator tegangan impuls sebelumnya, yaitu menggunakan MATLAB Simulink. Gelombang *output* yang dihasilkan dari generator tegangan impuls akan dimasukan ke modul referensi sebagai tegangan *input*.



Gambar 12. Simulasi Rangkaian Penguat Inverting

Tabel 4. Parameter rangkaian Op-Amp Inverting

V_{in} (kV)	R₁ (kΩ)	R_f (kΩ)
34,47	1	10
	2	30
	3	60
20,88	1	10
	2	30
	3	60
1,544	1	10
	2	30
	3	60

Pada simulasi rangkaian penguat inverting ini nilai dari R dan R₁ adalah 1 kΩ, 2 kΩ, dan 3kΩ. Sedangkan nilai R_f adalah 10kΩ, 30kΩ, dan 60kΩ. Nilai V_{in} disesuaikan dengan nilai gelombang *output* dari hasil simulasi rangkaian generator impuls sebelumnya.

3.2.2 Perhitungan Tegangan Ouput

Perhitungan tegangan *output* disini menggunakan parameter pada Tabel 4. Nilai V_{in} berdasarkan dari gelombang *output* dari rangkaian generator impuls, lalu nilai resistornya bisa bervariasi sesuai keinginan.

$$V_{out} = -\left(\frac{R_f}{R_1}\right) V_{in} \quad (4)$$

$$V_{out} = -\left(\frac{10}{1}\right) 34,47kV$$

$$V_{out} = -(10)34,47kV$$

$$V_{out} = -344,7kV$$

Perhitungan diatas menggunakan tegangan input 30,97kV, nilai resistornya disesuaikan dengan parameter pada Tabel 4. Cara yang sama digunakan untuk nilai tegangan input yang selanjutnya, sesuaidengan parameter pada tabel 4.

Tabel 5. Hasil perhitungan tegangan output

V_{in} (kV)	V_{out} (kV)
34,47	-344,7
	-517
	-689,4
20,88	-208,8
	-313,2
	-417,6
15,44	-154,4
	-231,6
	-308,8

3.2.3 Perhitungan Penguatan Tegangan

Penguatan tegangan merupakan penguatan yang didapat dari rangkaian *op-amp inverting* pada gelombang *input* (V_{in}) sehingga gelombang keluarannya menjadi lebih besar. Parameter yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4 dan 5.

$$A_V = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_1} \quad (5)$$

$$A_V = \frac{-344,7}{34,47} = -\frac{10}{1}$$

$$A_V = -10 = -10$$

Perhitungan diatas menggunakan nilai V_{in} 30kV, $R_1 = 1k\Omega$, dan $R_f=10k\Omega$. Cara yang sama digunakan untuk nilai V_{in} dan resistor yang selanjutnya. Hasil dari perhitungannya dapat dilihat padaTabel 6.

Tabel 6. Hasi perhitungan penguatan tegangan			
Vin (kV)	Vout (kV)	Penguatan tegangan (Av)	
		Tegangan (V)	Arus (I)
34,44	-344,7	-10	-10
	-517	-15	-15
	-689,4	-20	-20
20,88	-208,8	-10	-10
	-313,2	-15	-15
	-417,6	-20	-20
1,544	-154,4	-10	-10
	-231,6	-15	-15
	-308,8	-20	-20

3.2.4 Hasil Simulasi Rangkaian Op-Amp Inverting

Tabel 7. Hasil perhitungan tegangan output dan penguatan tegangan

Vin (kV)	R ₁ (kΩ)	R _f (kΩ)	Vout (kV)	Penguatan tegangan (Av)	
				Tegangan (V)	Arus (I)
34,44	1	10	-344,7	-10	-10
	2	30	-517	-15	-15
	3	60	-689,4	-20	-20
20,88	1	10	-208,8	-10	-10
	2	30	-313,2	-15	-15
	3	60	-417,6	-20	-20
1,544	1	10	-154,4	-10	-10
	2	30	-231,6	-15	-15
	3	60	-308,8	-20	-20

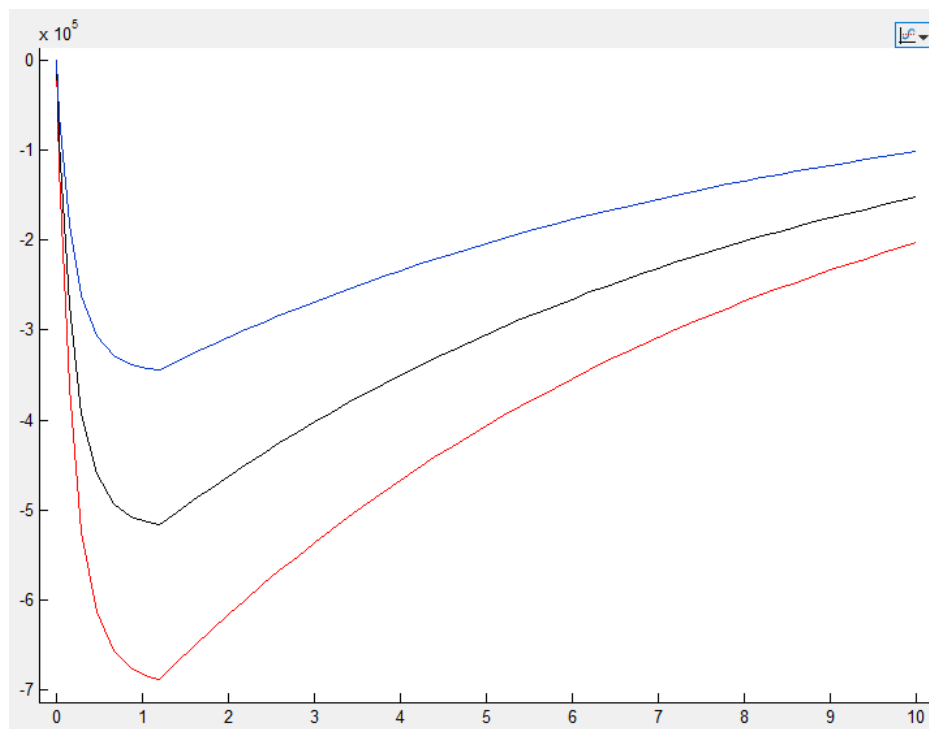
Data yang ditampilkan pada Tabel 7 merupakan rekapitulasi dari perhitungan sebelumnya. Dapat dilihat pada Tabel 7, terdapat 3 input dengan masing-masing input memiliki 3 variasi nilai resistor. Keluarannya akan dipengaruhi oleh nilai resistornya. Gambar 13, Gambar 14, dan Gambar 15 merupakan gelombang *output* yang dihasilkan dari simulasi rangkaian *op-amp inverting*. Dapat dilihat bahwa setiap gelombang output memiliki nilai yang berbeda, namun memiliki waktu tegangan puncak yang sama :

Keterangan gambar :

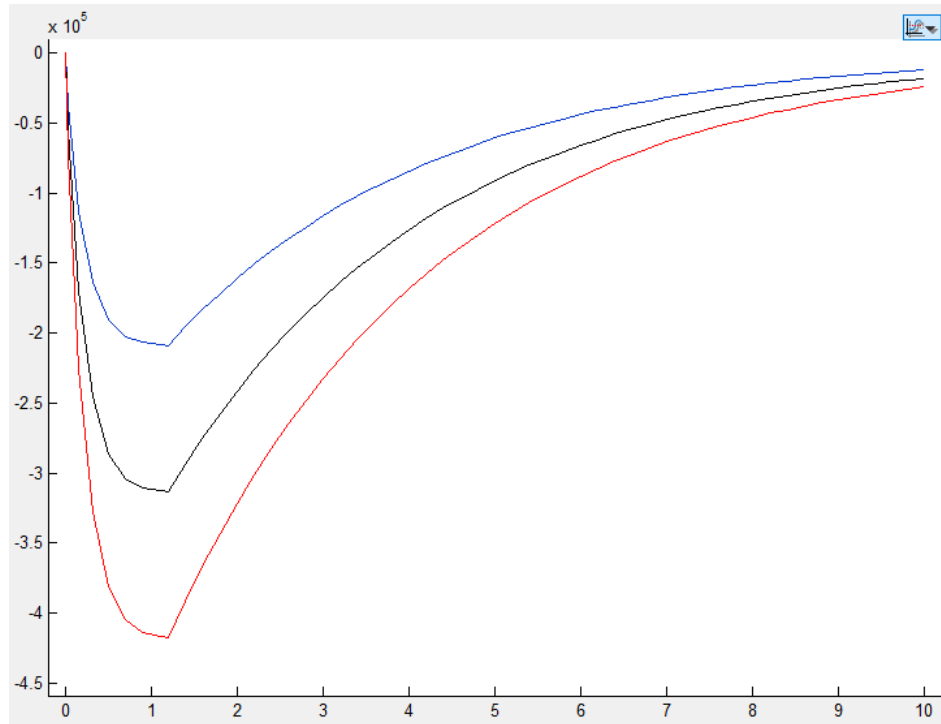
> $R_1 = 1\text{k}\Omega$ / $R_f = 10\text{k}\Omega$ (—————)

> $R_1 = 2\text{k}\Omega$ / $R_f = 30\text{k}\Omega$ (—————)

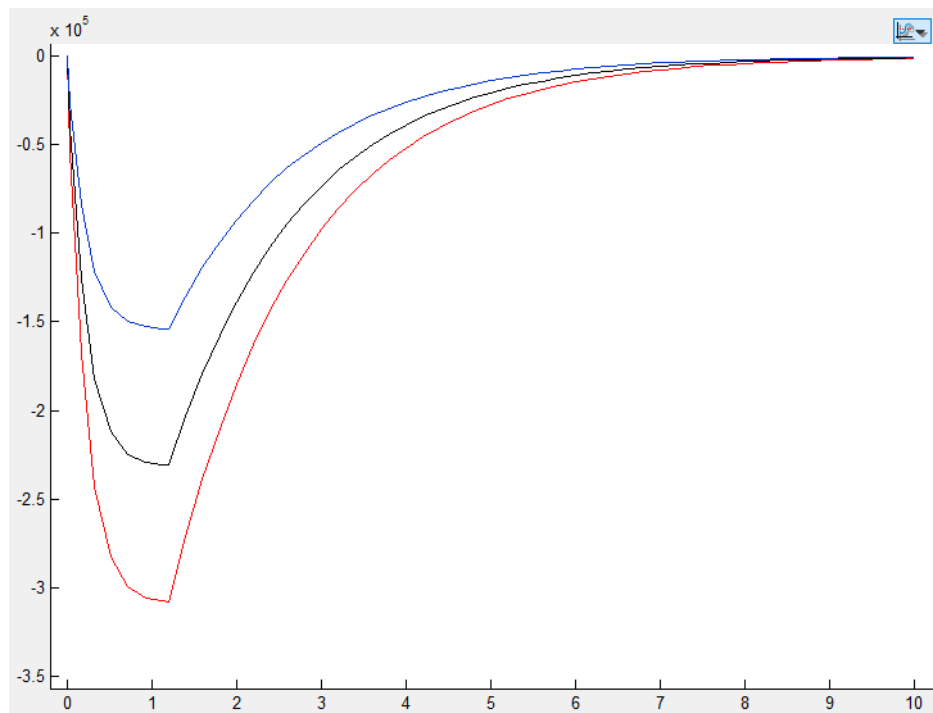
> $R_1 = 3\text{k}\Omega$ / $R_f = 60\text{k}\Omega$ (—————)



Gambar 13. Gelombang keluaran rangkaian pembalik muatan dengan nilai V_{in} 34,47 kV



Gambar 14. Gelombang keluaran rangkaian pembalik muatan dengan nilai V_{in} 20,88 kV



Gambar 15. Gelombang keluaran rangkaian pembalik muatan dengan nilai V_{in} 15,44 kV

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil dari Simulasi Penangkal Petir *Op-Amp Inverting* Dengan Generator Tegangan Impuls Sebagai *Input* Menggunakan MATLAB Simulink dapat disimpulkan bahwa besarnya nilai sinyal masukannya tidak berpengaruh pada keluarannya. Penguatan sinyal rangkaian *op-amp inverting* dipengaruhi oleh resistornya yang berfungsi sebagai faktor utama penguatannya. Nilai resistor yang digunakan pada penelitian ini bervariasi antara $1\text{k}\Omega$ sampai dengan $60\text{k}\Omega$. Pertama dengan nilai R_1 $1\text{k}\Omega$ dan R_f $10\text{k}\Omega$ penguatan tegangannya adalah 10 kali lebih besar, yang kedua dengan nilai R_1 $2\text{k}\Omega$ dan R_f $30\text{k}\Omega$ penguatannya adalah 15 kali, dan yang ketiga dengan nilai R_1 $3\text{k}\Omega$ dan R_f $60\text{k}\Omega$ penguatannya sebesar 20 kali. Sinyal keluaran yang dihasilkan berbanding terbalik 180° dari sinyal masukannya. Penguatan tegangannya dapat disesuaikan dengan kebutuhan dengan cara memilih nilaioresistor yang tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Saodah, S., Tri Mulyanto, A. and Arfianto, T. (2015), “Studi Awal Alat Proteksi Petir Dengan Metode Pembalik Muatan”, Prosiding Seminar Nasional ReTII ke-9 STTNAS, Yogyakarta.
- Teguh Arfianto, Sabat Anwari, Rangga Okzadika Fitra Pratama (2018), “Simulasi Sistem Proteksi Petir Eksternal Dengan Metode Pembalik Muatan Menggunakan Matlab”, Jurnal Rekayasa Hijau No.1 | Vol. 2 ISSN: 2550-1070 Maret 2018
- T. Bimatara, J. Juningtyastuti, and M. Facta (2017) "Kinerja Rangkaian R-C Dan R-L-C Dalam Pembangkitan Tegangan Tinggi Impuls", Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, vol. 5, no. 4, pp. 536-542,. <https://doi.org/10.14710/transient.5.4.536-542>.
- Abdurrahman Rasyid (2019), “*Op-Amp* Sebagai Penguat Inverting”, dipetik pada 17 Maret 2021 dari <https://www.samrasyid.com/2019/08/op-amp-sebagai-penguat-inverting.html>
- Chen Y.A., Lin K., & Li Y.M. (2017), “*Assessment To Effectiveness Of The New Early Streamer Emission Lightning Protection System*”, *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, 10, 108-123.
- Reynaldo Zoro (2013) “*External Lightning Protection System for Main Office Building in the Area with High Lightning Density*”, *Procedia Technology* Volume 11, 2013, halaman 1238-1243.
- S. Mehta, P. Basak, K. Anelis and A. Paramane (2018) "*Simulation of Single and Multistage Impulse Voltage Generator Using Matlab Simulink*", *International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON)*, 2018, pp. 641-646, doi: 10.1109/GUCON.2018.8675054.
- Sheeba, R dkk (2012), “*Simulation of Impulse Voltage Generator and Impulse Testing of Insulator using MATLAB Simulink*”, DOI: 10.1109/GUCON.2018.8675054